# 青海锡铁山铅锌矿床类型刍议

冯志兴1,2),孙华山1),吴冠斌1),王玉奇1)

1) 中国地质大学资源学院,武汉,430074;2) 西部矿业地勘公司,西宁,810000

内容提要:锡铁山铅锌矿床是我国大型块状硫化物矿床之一。该矿床类型认识长期存在争议,目前已有越来越 多学者将其视为 SEDEX 型矿床。本文在近年来块状硫化物矿床成矿构造背景研究进展归纳整理的基础上,结合柴 达木盆地北缘早古生代区域地质研究进展,提出锡铁山矿床的成矿构造环境不是以往认为的陆内裂谷,而是活动大 陆边缘弧后/间盆地裂谷。鉴于成矿构造环境变化,锡铁山矿床类型也应作出相应调整,由原来的 SEDEX 型矿床改 为 VSHMS 型矿床。这样做可以达到三个方面的目的:其一,有利于解决现存的成矿构造背景认识与区域地质认识 不一致的矛盾;其二,有利于保障本区目前和未来大规模展开的区域成矿研究及找矿勘查评价建立在正确的成矿背 景认识前提之下;其三,将矿床类型划分与成矿构造背景相结合,进而用矿床类型揭示构造背景,体现了矿床研究为 地球系统科学服务的宗旨。

关键词: 块状硫化物矿床;成矿构造背景;矿床类型;青海锡铁山

锡铁山铅锌矿床是我国大型块状硫化物矿床之 一,已探明铅锌金属储量 430 余万吨。针对该矿床 的成因与类型认识经历了一个长期的过程。20世 纪 50 年代至 70 年代中期,认为本矿床属于远程中 低温热液裂隙充填交代型铅锌矿床(引自邬介人等, 1987),成矿时代为海西期。80年代,随着研究的深 入和新的成矿理论的引入,认为矿床成因属于裂谷 型优地槽环境下的火山喷气沉积变质改造型矿床, 也称"锡铁山式矿床"(邬介人等,1987)。1997年, 在锡铁山矿务局组织召开的"锡铁山铅锌矿高层次 地质找矿研讨会●"上,部分学者提出矿床成因以层 控沉积为主,伴随有一定的后期改造作用;部分学者 认为矿床成因属于后生的,为 MVT 型;还有部分学 者认为属于上述两者综合,即层控热液叠加改造型。 1998年,邓吉牛首次提出矿床为以沉积岩为容矿岩 石的喷气沉积矿床,即 SEDEX 型矿床<sup>●</sup>。2000 年 以来,随着矿山外围及深部找矿突破,沉积喷流成矿 的观点已为越来越多的学者认可。如,张德全等 (2005)指出锡铁山矿床的主体属于以沉积岩为容矿 岩石的喷流沉积(SEDEX)型矿床,但后期遭受了造 山作用的强烈改造,矿体空间分布明显受后期构造 控制,并且,该矿床也程度不大地受到过后期热液改 造。为更加显示它的地区性特色和强烈的后期改造,建议将其称为"锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床"。祝新友等(2006)通过矿床两类不同产状矿体地质地球化学特征研究,指出矿床非层状与层状矿体均属沉积喷流成因,其中,非层状矿体代表了喷口或近喷口相的脉状蚀变矿化特征,层状矿体代表了远离喷口的层状矿化特征。此外,邓文达等(2003)、李峰等<sup>60</sup>、李峰等(2007)和吴昌志等(2008)对该矿床类型的认识也均持 SEDEX 型观点。

尽管如此,笔者认为,已有矿床类型认识尚存在 如下几个问题值得探讨:①典型 SEDEX 型矿床不 仅赋矿围岩而且整个含矿岩系均以沉积岩为主,火 山岩在整个含矿岩系之中所占的比例明显不如沉积 岩多。如,澳大利亚北部赋存于元古宙砂页岩中的 SEDEX 型矿床,整个含矿岩系内部沉积岩含量明显 比火山岩大(Betts et al.,2003);加拿大西北部 Selwyn 盆地古生代地层中的 SEDEX 型矿床,同样 表现为整个含矿岩系内部沉积岩远大于火山岩的特 点(Goodfellow,2004);加拿大 Sullivan 和美国 Red dog 等典型 SEDEX 型矿床同样也表现出上述特征 (Lydon,2004)。但是,锡铁山矿床赋矿的滩间山群 内部火山岩所占比例明显要比沉积岩大,因此,将锡

注:本文为西部矿业公司项目"青海锡铁山铅锌矿床南部绿片岩系成矿条件及找矿潜力评价"和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目的成果。

收稿日期:2009-11-16;改回日期:2010-02-07;责任编辑:章雨旭。

作者简介:冯志兴,男,1968年生。地质高级工程师,矿产普查与勘探专业在读博士。通讯作者:孙华山,男,1969年生。博士,副教授。 主要从事成矿理论及成矿预测教学和研究。Email:sunhsh@cug.edu.cn。

铁山矿床类型视为 SEDEX 型矿床是否合适值得探 讨。②一般典型 SEDEX 型矿床形成构造背景为离 散板 块 动 力 学 机 制 下 的 陆 内 裂 谷 或 拗 拉 槽 (Sawkins, 1972, 1976)。锡铁山矿床以往其成矿构 造背景也被认为是早古生代华北板块南缘裂解作用 形成的陆内/间裂谷(邬介人等,1987),与 SEDEX 型矿床形成构造背景一致。矿化特征,尤其是层状 矿体与网脉状矿体的空间分布关系,表明锡铁山矿 床早古生代喷流沉积作用的存在。但是,近年来,有 关柴达木盆地北缘(以下简称柴北缘)早古生代区域 地质背景认识已出现了很大变化,由以往的离散板 块动力学机制下的陆内裂谷转变为汇集板块动力学 机制下的活动大陆边缘岛弧(赖绍聪,1996a,1996b; 杨经绥等,2001;陆松年等,2002;许志琴等,2003), 这与典型 SEDEX 型矿床形成的动力学机制及构造 背景发生了很大的变化,因此,继续将锡铁山矿床成 矿构造环境视为陆内裂谷是否合适同样值得探讨。 有鉴于此,结合近年来块状硫化物矿床成矿动力学 机制及构造环境研究进展,本文试图对锡铁山矿床 成矿构造背景及矿床类型做一探讨,想法不是很成 熟,不妥之处敬请各位同仁指正。

# 块状硫化物矿床成矿构造背景研究 进展

狭义上(侯增谦等,2003),块状硫化物矿床是指 火山成因块状硫化物矿床,或以火山岩为容矿围岩 的块状硫化物矿床(volcanogenic massive sulfide deposit,简称 VHMS),也称黄铁矿型矿床。这类矿 床产于海相火山岩系中,矿石多为块状、网脉状,主 要由 Fe、Cu、Pb、Zn 等的硫化物组成,常伴有 Au、 Ag、Co 等多种有益组分以及重晶石、石膏和硬石膏 等非金属矿产。

广义上(Hutchison,1980),块状硫化物矿床是 指海底成矿热水溶液通过喷流、混合、热卤水结晶或 热液充填交代等多种作用而形成的一类具有相似矿 化特征的矿床总称。这样以碎屑岩为赋矿围岩(少 量或不含火山岩,与火山作用没有直接关系)具有与 火山成因块状硫化物矿床相似矿化特征的矿床也被 归入块状硫化物矿床一类,称为以沉积碎屑岩为容 矿围岩的块状硫化物矿床(Clastic hosted massive sulfide deposit,或 Sedimentary exhalative massive sulfide deposit 简称 SEDEX)。下面对上述两种类 型块状硫化物矿床近年来研究进展概括如下,重点 集中在成矿动力学背景及成矿构造环境等方面。

## 1.1 VHMS型矿床成矿构造环境

据李文渊(2007)总结,通过现代和古代岛弧成 矿环境演化研究,对岛弧有关的块状硫化物矿床时 空分布规律有了更深入认识。如以往认为岛弧和洋 中脊环境是块状硫化物矿床形成的有利构造环境, 但是,目前岛弧环境的现代海底成矿作用仅见于西 太平洋小笠原岛弧(Urabe et al., 1987),总体上矿 化较弱,尚未发现有一定规模的矿床,与古代矿床中 多认为形成于岛弧环境的认识显著不同。不过近来 愈来愈多的研究已表明,过去认识的岛弧成矿环境 并非与挤压造弧阶段的岛弧钙碱性中酸性火山岩有 关,而是形成于岛弧开裂断陷阶段的双峰式岩石组 合中,是岛弧裂谷的产物,日本的黑矿和三江地区的 呷村提供了这方面的实例(Urabe et al., 1991; de Ronde et al., 2001, 2005; Kim et al., 2006; 侯增谦 等,2003)。而岛弧裂谷是一种特殊的弧后盆地,其 进一步发育就形成了弧后盆地,只是弧后盆地的形 成发育是一个过程,从幼年期到成熟期,岩石组合不 同,成矿可能不同。幼年期可能形成锌铅铜矿床,成 熟期扩张脊拉出的新洋壳出现,发育典型的大洋中 脊玄武岩,故形成铜锌矿床。西南太平洋弧后盆地 冲绳(Okinawa)海槽和马里亚纳(Mariana)海槽的 成矿作用其实就是这种认识的现代例子。冲绳海槽 发育在厚 20 km 的陆壳基底上的弧后扩张盆地,是 菲律宾大洋板块向西俯冲致使琉球弧张裂的产物, 尚属于岛弧裂谷阶段的弧后扩张盆地,在深1200~ 1600m 的弧后盆地内,发育双峰式火山岩组合,由 流纹岩(英安岩)和玄武岩构成,成矿特征十分类似 于日本的黑矿(Halbach et al., 1989; Glasby et al., 2008),硫化物丘为锌铅铜矿化特征;马里亚纳海槽 则经强烈扩张出现洋壳,东侧为 Pagan 岛弧,西侧 为残留弧,发育典型的大洋中脊玄武岩而非双峰岩 石组合,水深1600~3700 m,矿化类似于大洋中脊 的情况,以铜锌矿化为主(de Ronde et al., 2001, 2005; Kim et al., 2006)。 劳(Lau) 海 盆类型、矿化 类型介于冲绳海槽和马里亚纳海槽之间,属过渡类 型(Fouquet et al., 1993)。因此, 有利于形成 VHMS型块状硫化物矿床的构造环境是弧后/间裂 谷或洋中脊。

# 1.2 SEDEX 型矿床成矿构造环境

以往一直认为 SEDEX 型矿床产出的构造背景 为被动大陆边缘裂谷或拗拉槽,并且与 VHMS 型 矿床不同,其形成的地球动力学背景不是板块汇聚 边缘而是离散板块边缘或离散板块内部裂谷。但 是,近年来随着澳大利亚北部元古宙世界级 SEDEX 型铅锌矿床成矿动力学背景的研究深入,表明这些 矿床成矿构造环境不是以往认为的被动大陆边缘裂 谷,而是汇聚板块地球动力学背景之下的远离弧后 的大陆拉张盆地(far-field backarc continental extension basin,Betts et al.,2002,2003),见图 1。 虽然以上认识仍然承认这些 SEDEX 型矿床成矿构 造环境是大陆内部的断陷盆地,但是,二者形成的地 球动力学背景已完全不同,即由传统的板块裂解动 力学背景转为板块汇聚的动力学背景。

Groves 和 Bierlein(2007)在金属矿床系统的地 球动力学背景中进一步明确指出:现在看来,不仅产 出于元古代克拉通盆地中的 SEDEX 型铅锌矿床形 成构造背景具有上述特点,而且显生宙 SEDEX 型 矿床与元古宙 SEDEX 型矿床也具有相似的成矿动 力学背景。如,以往认为的典型的古生代 SEDEX 型矿床——加拿大 Selwyn 盆地内部的 SEDEX 型 矿床、美国 Red Dog 等铅锌矿床,根据它们赋矿沉 积盆地及其成因来看,与元古宙 SEDEX 型矿床具 有广泛的相似性。根据晚泥盆世大陆恢复结果显 示,这些矿床的形成与 Pangaea 超大陆汇聚有关,产 出部位也是远离弧后的陆内拉张盆地(Lydon, 1996)。因此,那些以往被认为产出于被动陆缘裂谷 环境的大型 SEDEX 型矿床成矿动力学背景无疑值



图 1 澳大利亚北部 Mount Isa 盆地元古宙 Sedex 型块状硫化物矿床成矿构造环境(据 Betts et al., 2003) Fig. 1 The metallogenic tectonic environment of Sedex-type massive sulfide deposits in the North Australian craton (Betts et al., 2003)

(a) 俯冲碰撞早期,远离弧后陆内拉张,形成远弧陆内 Leichhard 和 Calvert 拉张盆地,盆地内部发育一套地堑断裂系统,并形成巨厚赋水 碎屑岩建造,为 Sedex 型矿床形成准备了条件。(b) 俯冲碰撞之后,随着热量释放降低,软流圈下沉,Isa 超级裂陷盆地形成,发育一套富含 有机质的黑色页岩,有利于 Sedex 型矿床形成。详细说明见正文

(a) Early stage of subduction, between ca. 1800 and 1660 Ma, Far-field continental lithospheric extension and intracratonic Leichhard & Calvert basin development, forming a graben system and a huge thickness aquiferous clastic formation, which is a base of Sedex deposit.(b) After collison, thermal subsidence of the lithosphere resulting in the development of the Isa superbasin, forming a set rich-organic black shale, which is helpful for Sedex deposit forming. Explain in detail in the context

得今后给予更多研究关注。

Betts 等(2003)指出:与传统上形成于板内裂谷、拗拉槽和被动大陆边缘的 SEDEX 型砂页岩型 铅锌矿床相比,这类形成于汇聚板块边缘远离弧后 拉张裂陷盆地中的砂页岩型铅锌矿床,具有更大的 成矿潜力和找矿价值。原因在于:

① 这些地区具有长期的拉张历史,如北澳大利 亚地区赋存 SEDEX 型矿床的盆地具有 140Ma (1800~1660Ma)的拉张历史。相反,陆内裂谷拉张 的历史一般都较短。如,同样是北澳大利亚的 Adelaidean 新元古代被动陆缘裂谷拉张历史仅有 75Ma(830~755Ma),而简单的陆内裂谷或拗拉槽 拉张的历史就更短;② 在长期拉张条件下,沉积了 一套巨厚的富含陆源碎屑的沉积层序,为 SEDEX 型铅锌矿床的形成准备了巨量的成矿物质条件(陆 源碎屑富铅);③在长期拉张背景下,盆地内部发育 形成了一套完整的断裂体系以及高渗透疏导能力的 含水层,为大规模流体聚集及运移提供了条件(图 1a);④ 在长期拉张背景下,伴随大规模岩石圈减 薄,软流圈上涌,导致大范围的地热梯度升高,为大 规模盆地流体循环、含矿流体的形成创造了条件;⑤ 俯冲碰撞后期,伴随热量降低,软流圈下降,岩石圈 回弹,拉张盆地发展阶段结束(extensional-basin phase)进入坳陷盆地发展阶段(sag-basin phase), 盆地进入缺氧沉积,形成一套富含有机质的黑色岩 系,为成矿物质从流体中大规模沉淀提供了物理化 学条件(图 1b);⑥ 板块俯冲过程中俯冲角度、挤压 应力的间隙性调整,为盆地断裂的间歇式活动提供 了条件, 成矿流体的间歇性喷流是形成大规模 SEDEX 型矿床的重要保障;⑦ 与大陆裂谷狭窄的 规模不同,远离弧后的拉张裂陷盆地规模大,因此, 造山过程中遭受隆升剥蚀及变形破坏的程度都要小 得多,有利于矿床保存。

# 1.3 VSHMS型块状硫化物矿床成矿构造环境

除常见的上述两种类型块状硫化物矿床之外, 块状硫化物矿床还有一种常见的类型,已经成为最 近十几年来块状硫化物矿床研究的一种新动向。它 们的容矿围岩为火山-沉积岩。Goodfellow(2001) 将此类矿床称为火山-沉积岩容矿型块状硫化物矿 床 (volcanic sediment-hosted massive sulfide deposit,简称 VSHMS 型矿床)。

Goodfellow 和 McCutcheon(2003)认为加拿大 新布伦瑞克北部世界级巴瑟斯特块状硫化物矿床 (Bathurst-type)即属于此类矿床,其成矿动力学背 景为汇聚板块边缘的硅铝质弧后裂谷盆地。 Tornos(2004)也将西班牙伊比利亚半岛奥萨莫雷 纳成矿带(Ossa Morena Zone)中的很多块状硫化物 矿床归类于 VSHMS 型矿床。对矿石铅同位素研 究表明,奥萨莫雷纳成矿带矿石铅同位素(<sup>207</sup>Pb/ <sup>204</sup> Pb和<sup>206</sup> Pb/<sup>204</sup> Pb)比值明显比两侧的中伊比利亚 带(北东)和南葡萄牙带(西南)铅同位素比值低,也 比显生宙岩浆岛弧带铅同位素比值低,因此,该带是 一个铅同位素亏损带。导致该带铅同位素比值偏低 的原因是板块俯冲造山阶段深部镁铁质岩浆的侵位 带来的原始地幔铅与地壳铅混合的结果。可见,该 带块状硫化物矿床的成矿动力学背景是汇聚板块边 缘与岛弧有关的裂谷。此外,与带内其他类型矿床 相比,该带块状硫化物矿石铅组成明显具有地壳铅 特征,反应了矿石铅主要来源于盆地内部的沉积物, 与典型的 Sedex 型矿床铅同位素特征相似(Large, 2004)。最近, Bradshaw 等(2008) 对加拿大育空 (Yukon)芬雷森湖地区(Finlayson Lake)的沃尔沃 瑞恩(Wolverine) VSHMS 型块状硫化物矿床的成 因进行了研究,明确指出该矿床形成的动力学背景 与上述巴瑟斯特矿床相似(即汇聚板块边缘硅铝质 弧后裂谷,见图2),认为二者的相似之处包括:①二 者均形成于汇聚板块边缘硅铝质弧后裂谷环境;② 容矿围岩均为长英质火山碎屑岩和黑色页岩;③ 矿 石相对富 Zn(最高可达 30%以上);④ 空间上与含 铁建造有关。同时, Bradshaw 等(2008) 认为 VSHMS 型矿床与 SEDEX 型矿床相似之处包括: ① Pb+Zn 品位较高;② 发育热水沉积岩;③ 块状 硫化物形成于封闭或局部封闭的缺氧沉积盆地;④ 矿石中存在生物还原(海水硫酸盐)硫同位素;⑤铅 来源于盆地内部沉积物。此外,Goodfellow(2001) 在划分该类矿床时指出,该类矿床的关键特征包括: ① 形成于一个裂开的大陆岛弧或弧后裂谷背景(a rifted continental arc or back-arc setting);② 赋矿 地层中火山岩、火山碎屑岩和泥质沉积岩比例大体 相当;③ 成矿主要出现在显生宙,尤其是奥陶纪一 石炭纪;④ 规模大(平均金属量 32.7 Mt);⑤ Zn+ Pb+Cu+Ag 品位比 VHMS 型矿床高。

总之,专门针对 VSHMS 型块状硫化物矿床目 前研究资料还不多,但是,从已有的成果看,它们应 当是位于 VHMS 型和 SEDEX 型之间的一类过渡 型块状硫化物矿床。它们的成矿机制和矿化特征与 VHMS 和 SEDEX 型块状硫化物矿床相似,但三者 之间形成的地球动力学背景及成矿构造环境上存在



图 2 加拿大育空(Yukon)芬雷森湖(Finlayson Lake)地区 Wolverine VSHMS型块状硫化物矿床 成矿构造环境(据 Bradshaw et al., 2008)



明显差异。其中,与 VHMS 型矿床相比,VSHMS 型矿床虽然也形成于汇聚板块边缘,但 VSHMS 型 矿床成矿构造背景一般为大陆硅铝壳基础上发展起 来的弧后/间裂谷环境,至今尚未见洋中脊和洋岛弧 裂谷的报道,而弧间裂谷一般是 VHMS 型矿床形 成的最有利环境;与 SEDEX 型矿床相比,VSHMS 型矿床一方面仅形成于汇聚板块动力学背景之下, 而 SEDEX 型矿床除汇聚板块动力学背景之下, 而 SEDEX 型矿床除汇聚板块动力学背景还可以形 成于离散板块背景。另一方面,即使都是汇聚板块 边缘,VSHMS 型矿床形成于陆缘弧后盆地,而 SEDEX 型矿床形成于远离弧后的陆内裂陷盆地。

综上,通过上述块状硫化物矿床类型与产出构造背景关系的讨论不难发现,在板块汇聚构造背景下,VHMS型、VSHMS型和 SEDEX 型三种类型的块状硫化物矿床无论是矿化特征还是成矿作用方式都很相似,因此,很难通过矿化特征或成矿作用方式将其进行分类。但是,三者在成矿构造背景上却存在较明显的差异。即 VHMS 型矿床形成于洋中脊、活动大陆边缘弧前、弧间或弧后盆地,并且赋矿 围岩为火山岩;VSHMS 型矿床虽然也形成于弧后盆地,但其仅出现于硅铝质陆壳基底之上,属于陆缘 基底弧后盆地,并且赋矿围岩为火山-沉积岩; SEDEX型矿床形成于远离弧后的陆内裂陷盆地。因此,根据成矿构造环境可以对其进行合理的分类, 并且这种形成于统一动力学背景之下(板块汇聚背 景),自板块边缘岛弧向远离弧后的大陆内部,块状 硫化物矿床有规律的变化,构成了一个很好的矿床 组合分带,即从 VHMS 型→VSHMS 型→SEDEX 型。因此,可以根据块状硫化物矿床产出的具体构 造背景,结合赋矿围岩特征,对矿床进行分类。尽可 能使每一类矿床都具有明确的产出构造背景,反之, 也可以通过矿床类型揭示其形成的构造背景。达到 矿床研究有利于解决基础地质问题、服务地球系统 科学的目的(翟裕生,2007)。

# 2 锡铁山矿床成矿构造环境

自邬介人等(1987)提出锡铁山矿床成矿构造环 境为陆内裂谷以来,其后熊兴武(1994)、邓吉牛 (1998)等一直沿用了此观点,直到目前,仍然有很多 研究学者持此观点,如樊俊昌等(2006)、李峰等<sup>90</sup>、 李峰等(2007)、吴昌志等(2008)。笔者认为,如果说 陆内裂谷观点受到以往区域地质认识的影响(张以 **茀**,1984;青海省地质矿产局,1991),那么,目前锡铁 山矿床成矿构造背景认识同样不能忽视近年来柴北 缘区域地质研究取得的成果,并且应当成为锡铁山 矿床成矿构造环境判断的重要佐证。在此将这些重 要的证据归纳整理如下:

#### 2.1 柴北缘高压一超高压变质带

1994年以前,出露于柴北缘胜利口一带的镁铝 榴石超基性岩一直被认为具有"似金伯利岩"特征, 金云母 K-Ar 年龄为 490Ma,揭示了早古生代柴北 缘板内克拉通(intra-craton)构造背景<sup>●</sup>。但是, 1994年杨建军等研究认为柴北缘胜利口镁铝榴石 超基性岩不是"似金伯利岩",而是石榴子石橄榄岩 (属于榴辉岩的一种类型)。根据岩相学、矿物化学 及 P—T 条件显示该超基性岩不具有稳定克拉通下 部橄榄岩的特征,而是克拉通边缘或大洋岩石圈的 橄榄岩,成岩构造背景为大陆边缘上覆于俯冲板块 的地幔楔形区。并且进一步指出该岩石所揭示的构 造属性与赖绍聪等(1993)指出的柴北缘是加里东晚 期古洋盆闭合后的陆一陆碰撞型造山带认识一致。 此后,杨经绥等(2001)、张雪亭等(1999)、郝国杰等 (2001)和张建新等(2000)又先后在大柴旦、沙柳河、 鱼卡河、绿梁山、锡铁山等地区发现了更多高压一超 高压榴辉岩的存在。

#### 2.2 蛇绿岩

赖绍聪等(1996a)首先在柴北缘鱼卡、胜利口、 锡铁山、沙柳河、茶卡南山一灰狼沟一带等古生代奥 陶纪火山岩内部发现有蛇绿岩存在,构成了一条断 续长约 600km,宽 20~30km 的蛇绿岩带。该蛇绿 岩带由超基性岩、辉长岩与古生代上奥陶统海相火 山岩共同组成,带内超基性岩呈带状分布,分段集 中,成群出现。进而指出柴北缘加里东期曾经有古 洋盆存在,古洋盆宽度约为 1000km(赖绍聪等, 1996b)。此后,张贵宾等(2005)在沙柳河榴辉岩剖 面内部发现了蛇绿岩型地幔橄榄岩,其围岩为变质 的堆晶辉长岩,二者构成了大洋蛇绿岩套的下部层 位,进一步证实了柴北缘早古生代古洋盆的存在。

# 2.3 岛弧火山岩

赖绍聪等(1996b)在柴北缘滩间山群火山岩岩 石化学、微量元素及稀土特征及构造地球化学图解 的综合研究基础上,指出柴北缘滩间山群火山岩成 岩构造环境不是以往认为的裂谷而是岛弧火山岩。 同时指出,不同地区火山岩岩石化学及地球化学特 征的显著差异,指示了柴北缘火山岩成岩构造环境 的复杂性。

史仁灯等(2004)通过柴北缘西段吉绿素、双口 山地区滩间山群火山岩的研究,认为该早古生代的 岛弧火山岩显示三组地球化学特征:① VTG-I,岛 弧拉斑玄武岩(IAT);② VTG-Ⅱ,高铝次钙碱性— 碱性过渡型玄武岩;③ VTG-III,较 N-MORB 更亏 损的拉斑玄武岩(异常 MORB)。研究认为前两组 火山岩是成熟岛弧两个发育阶段的特征性产物:洋 壳俯冲到陆壳的初期,由俯冲洋壳和地幔楔的部分 熔融形成岛弧拉斑玄武岩(IAT),随着俯冲板块的 速度加快和岛弧周围地壳的加厚,则形成钙碱性玄 武岩(CA)、高铝玄武岩。第三组火山岩形成于弧间 盆地,由亏损的地幔楔高度部分熔融形成比 N-MORB 亏损的火山岩(异常 M0RB)。此外,史仁灯 等(2003)在吉绿素滩间山群火山岩中发现了埃达克 质(Adakitic)英安岩,进一步佐证了早古生代柴北 缘发生过洋一陆俯冲作用。此外,王惠初等(2003) 通过滩间山群岩石组合和地球化学的综合研究,也 进一步佐证了早古生代柴北缘岛弧火山作用和洋一 陆俯冲过程的存在。

近年来的研究表明,无论是蛇绿岩还是岛弧火 山岩或者超高压变质岩都具有多种形成环境(张旗 等,2003;莫宣学等,2001)。因此,试图仅凭三者之 中的任何一种就判断岩石形成的构造环境很可能给 出一个错误的结论。但是,如果以上三种岩石类型 的两种或两种以上同时出现时,一般对构造环境的 判断具有很好的效果和很高的成功率。如莫宣学等 (2001)利用蛇绿岩带与岛弧火山岩带的"成对性"成 功恢复出西南三江地区古特提斯构造域板块边界和 发展演化的图画,并且与古地磁资料基本吻合。

柴北缘滩间山群内部及其附近围岩之中不断报 道发现的蛇绿岩、岛弧火山岩和高压一超高压变质 岩已经构成了标准的三位一体俯冲碰撞岩石一构造 组合,并且三者之间具有较好的时间配套关系。研 究表明,蛇绿岩形成时间为晚寒武世一早奥陶世 (518~496 Ma,代表洋盆张开时间),岛弧火山岩形 成时间为中奥陶世(486~460 Ma,代表板块俯冲时 间),高压一超高压变质岩形成时间不同地段变化较 大(500~430 Ma),可能揭示了这些榴辉岩各自经 历了不同的演化过程(陈丹玲等,2007)。因此,柴北 缘滩间山群蛇绿岩、岛弧火山岩和高压一超高压变 质岩三位一体的岩石一构造组合和较好的时间配套 关系是柴北缘早古生代存在俯冲碰撞的重要佐证, 也是大陆裂谷无法给出合理解释的关键所在。

此外,近年来吴才来等(2004,2007,2008)相继

对柴北缘古生代火山变质带及其旁侧的达肯大坂群 片麻岩中存在的三种类型花岗岩开展了系统的研究 工作,揭示了柴北缘早古生代有三次重大构造一热 事件,时间大致为 473Ma、446Ma 和 397Ma。其中 Ⅰ类花岗质岩浆作用为柴北缘早古生代活动陆缘环 境产物,Ⅲ类花岗岩浆作用代表了同碰撞造山环境 的产物。上述不同类型的花岗岩浆作用揭示了早古 生代柴北缘构造演化经历了一个由洋一陆俯冲→ 陆一陆碰撞→伸展折返的完整活动大陆边缘发展过 程。与上述蛇绿岩一岛弧火山岩一高压一超高压变 质岩所揭示的柴北缘早古生代构造演化过程具有相 互验证的作用。

综上可见,早古生代柴北缘地区发生过洋一陆 俯冲、陆一陆碰撞作用。因此,锡铁山矿床成矿构造 环境不是以往认为的被动大陆边缘裂谷,而应当是 早古生代汇聚板块动力学机制下的活动大陆边缘岛 弧/弧后裂谷。

# 3 锡铁山矿床类型归属

通过前述块状硫化物矿床类型与成矿构造背景 关系的探讨,本文已经指出,在板块汇聚背景下,块 状硫化物矿床类型与成矿构造背景之间具有确定的 联系,因此,可以通过成矿构造背景,结合赋矿围岩 特征对矿床进行分类。即 VHMS 型矿床、VSHMS 型矿床和 SEDEX 型矿床。根据上述观点,本文认 为锡铁山铅锌矿床类型应当归属火山-沉积岩容矿 型块状硫化物矿床(即 VSHMS 型矿床)。现将理 由陈述如下:

#### 3.1 成矿构造环境对矿床类型的制约

锡铁山铅锌矿床成矿构造背景为早古生代活动 大陆边缘弧后盆地裂谷,其形成与早古生代柴达木 盆地北缘欧龙布鲁克陆块活动大陆边缘的洋陆俯冲 消减作用有关,其形成的地球动力学机制与形成于 离散板块边缘的典型 SEDEX 型矿床显著不同。此 外,也与近年来 Betts 等(2003)提出的汇聚板块边 缘远离弧后的裂陷盆地中形成的 SEDEX 型块状硫 化物矿床成矿构造背景差异明显。因此,显然不应 将锡铁山矿床类型归入 SEDEX 型块状硫化物矿 床。同时,锡铁山铅锌矿床以火山-沉积岩为主的容 矿围岩特征,又与典型的以火山岩为容矿围岩的 VHMS 型块状硫化物矿床差异明显,因此,也不应 将锡铁山矿床划入 VHMS 型块状硫化物矿床之 列。综合考虑,就上述块状硫化物矿床分类方案而 言,将锡铁山矿床归入火山-沉积岩容矿型块状硫化 物矿床(VSHMS)不失为一种较为合理的选择。

## 3.2 与典型 VSHMS 型矿床地质特征对比

目前虽然有关 VSHMS 型块状硫化物矿床的 专门研究或报道数量还不是很多,但是从有限的矿 床报道中可以将该类矿床普遍地质特征总结如下表 1 所示。

由表1可见,锡铁山铅锌矿床形成的构造环境、 容矿围岩、矿石中元素富集、含矿岩系特征和成矿主 要时代均与典型 VSHMS 型块状硫化物矿床特征 相似。表现为:① 均形成于汇聚板块边缘硅铝质弧 后裂谷环境;② 容矿围岩为长英质火山碎屑岩 (a-1、b 岩组岩石化学分析 SiO<sub>2</sub> 含量普遍大于 66%)、含碳泥质岩(a-2岩组碳质片岩)和碳酸盐 (a-2岩组大理岩);③ 矿石相对富 Zn;④空间上与含 铁建造有关(含矿岩系中镁铁质玄武岩广泛发育)。 所不同的是锡铁山矿床容矿岩石成分中黑色页岩成 分要比火山岩成分高,显示出向 SEDEX 型矿床过 渡的特点。总之,从矿床产出构造背景及矿化特征 角度,将锡铁山矿床归入 VSHMS 型块状硫化物矿 床要比归入其他类型矿床更为合理。

# 3.3 火山一沉积联合作用对矿床类型归属的制约

图 3a,b 为根据锡铁山沟 83 线至中间沟 031 线

	表 1	锡铁山铅锌矿床与典型 VSHMS 型块状硫化物矿床地质特征对比
Table 2	The contras	t of geologic characteristics between the Xitieshan lead—zinc deposit and the typical

VSHMS-type	massive	sulfide	ore	deposits
			~ ~ ~	

典型矿床实例	形成构造环境	容矿围岩	矿石元素组合	含矿岩系特征	主要成矿时代	
Bathurst, Canada;		龙山岩 龙山磁屋岩和今		龙山岩龙海和岩 龙山岩	目止空	
Wolverine, Canada;	汇聚板块边缘硅铝	火山岩、火山碎肩岩和3 碳泥质沉积岩夹热水喷流	富 Zn—Pb,伴生 Cu—Au—Ag	大山石天仉伝石,大山石	业生田, 尤其是 奥陶纪—石炭纪	
Ossa Morena Zone,	质弧后裂谷			中 及 同 从 咩 氏 火 山 右 , 开		
Spain		石		以铁铁顶火山石万土		
	目士开任职业务汇	十理史 磋质比毕 亦由酚		火山岩夹沉积岩,含矿岩		
想继山机拉矿庄	平口生门未北绿江	八哇石、吸灰月石、又干飯	$Zn+Pb{>}10\%$ ;	系下部发育双峰式火山	<b>भ</b> 审 武 田 匆 陶 妇	
砌 仄 山 田 井 切 小	来 似 庆 边 绿 弧 后 衣 谷	住入山石 天 然 小 城 凶 哇 灰 些	伴生 Ag—Au	岩,含矿岩系总体以铁镁	阮本氏臣 天岡北	
		白		质火山岩为主		

之间共 33 条勘探线剖面(延长近 4 km)469 个矿体 和流纹质斑岩视厚度数据所做的厚度等值线图。由 图可见,流纹质斑岩与矿体具有很好的协同变化与 空间联系。结合 VHMS 型块状硫化物矿床产出一 般与长英质岩浆空间密切相关的普遍规律(Allen et al.,2004),本文认为,锡铁山矿床矿体下盘稳定流 纹质斑岩很可能与成矿具有密切的时一空一物联 系。因此,锡铁山矿床类型的划分不能仅仅根据其 赋矿围岩简单地做出判断,必须考虑其下盘长英质 岩浆作用的影响。事实上,祝新友等(2007)研究已 为二者成因联系提供了很好的佐证。尽管对这些流 纹质斑岩的成因持有不同的观点。

图 4 为近年来深部钻孔揭露出的锡铁山矿床矿 化结构剖面。由此可见,本矿床确实存在典型块状 硫化物矿床中一般发育的双层矿化结构模式。即滩 间山群下部a-1、b岩组(火山岩,对应于图中的 O<sub>1-2b</sub>)内部发育的脉状矿体及 a-2 岩组下部角砾胶 结状大理岩型矿体代表了块状硫化物矿床下部的网 脉状、管道相矿化结构单元;近年来新发现的 a-2 岩 组(沉积岩)上部片岩型矿体代表了块状硫化物矿床 上部的层状矿化结构单元。由此表明产出于a-1、b 火山岩内部的脉状矿化与 a-2 沉积岩内部的层状矿 化是同期火山-沉积联合作用的产物。因此,锡铁 山矿床类型划分必须考虑火山一沉积联合作用的影 响。即,容矿围岩下部广泛发育的流纹质斑岩不仅 为海底热液喷流作用提供了热源,而且也为矿床的 形成提供了部分成矿物质来源。上部碳质泥岩盖层 的广泛发育,一方面为海水 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>还原创造了有利条 件,进而有利于硫化物的大量沉淀;另一方面还原性 环境也有利于硫化物组分的保存(Large, 2004)。 可见,锡铁山矿床类型划分应当考虑火山-沉积联 合作用的影响,而将其归属火山-沉积岩容矿型块状 硫化物(VSHMS型)矿床正是这种考虑的体现。

4 锡铁山矿床类型归属意义

本文认为将锡铁山矿床类型从目前认为的 SEDEX 型矿床改变为 VSHMS 型矿床类型的意义 在于:

(1) 矿床类型与成矿构造背景之间存在着密切 的联系。因此,可以通过矿床类型反映其形成的构 造 背 景 (Hutchison, 1980; Groves and Bielein, 2007)。上已述及,目前柴北缘早古生代区域地质认 识已发生深刻的变化,因此,作为反映不同构造背景 的矿床类型亦应做出适当的调整,以避免理论与实



orphyrite underlying ore-bodies in the Aitiesha lead—zinc ore deposit (a)—流纹斑岩;(b)—矿体 (a)—rhyolitic porphyrite; (b)—ore body

践过程中的相互矛盾。将锡铁山 Sedex 型矿床转变 为 VSHMS 型矿床,适应了从以往陆内裂谷认识向

结构分带		结构图	厚度 (m)	主要特征		孔 <b>澯位置</b> (m)
上覆围岩				下部为含碳绿泥片岩,往上硅化蚀变增强 碳质纹层与硅质纹层交替分布,纹层宽 1~5mm不等。		568. 5 ~
层状硫化物带	富黄铁矿带		9.1	块状黄铁矿,见少量闪锌矿。黄铁矿粗晶结构,含矿围岩含碳绿泥片岩。Pb+Zn=2.55%	1. 71	543~568.5
	富PbZn带		9.9	块状闪锌矿-方铅矿-磁黄铁矿组合,三者呈 层状产出。Pb+Zn=27.61%	11. 61	
	富Zn带		16. 2	块状闪锌矿-黄铁矿组合。二者呈纹层状分布,含 磺爆泥片岩与矿层交替出现。Pb+Zn=3.99%	16. 49	477~543
	富PbZn带		14. 5	块状藏黄铁矿-闪锌矿-方铅矿组合, 藏 黄铁矿呈中细粒结构, 闪锌矿细粒结构, 局部方铅矿含量相对增多, 上部为3~4m 的含碳绿泥片岩. Pb+Zn=12. 15%	4. 55	•)
网脉-隐爆角砾状矿化带	团 <del>致</del> 网脉 状矿化带		12	黄铁铅锌矿体,金属硫化物呈团斑状、网 脉状分布,局部方铅矿含量相对增多,含 矿围岩为绿泥石英片岩。Pb+Zn=7.05%	2. 15	456. 5~477
	网脉-隐爆 角砾状 矿化带		30. 4	上部为硅化石英岩,局部可见星点状黄铁 矿,下部为网脉-隐爆角砾状矿化,其中含 硅质角砾(隐爆角砾)方解石-硫化物以及 溶蚀孔洞方解石-硫化物。Pb+Zn=0.96%	7. 73	416~456.5
	强硅化 条带-浸染 状矿化带		42. 3	下部有1.5~2m的含碳绿泥片岩与O1-2"过渡, 往上呈矿层, 硫化物按纹层状、块状-细脉、 网脉状-浸染状规律递变, 黄铁矿呈似草莓 状, 变晶结构, 闪锌矿呈中细粒结构, 后期 结晶强, 局部方铅矿含量相对增加, 闪锌矿 也相对增多, 硅化从下往上不断增强, 可见 后期矿脉穿插。Pb+Zn=0.96%	2. 19	343~416
下伏围岩(O <sub>1-3</sub> tn)		\	6.4	变流纹质凝灰岩,岩石蚀变弱		334~343

厚度按轴夹角与岩芯长度换算。

图 4 锡铁山矿区深部 ZK44007-16 钻孔揭露的矿化结构剖面

Fig. 4 The mineralizing structure section from the ZK44007-16 drill hole

O1-2tn一下一中奥陶统滩间山群下部a-1、b火山岩组;孔深位置指示滩间山群已倒转

 $O_{1-2}tn$ — a-1 and b volcanic rock formations of the Lower—Middle Ordovician Tanjianshan Group; The location of drill hole implies the inversion of stratigraphic sequences

活动大陆边缘裂谷认识的转变,符合当前柴北缘区 域地质研究认识。达到了区域地质研究与矿床地质 研究的相互验证,对统一本区地质认识具有重要的 作用。

(2) 柴北缘多金属成矿带是近年来逐渐引起国 内关注的重要多金属成矿带之一,最近几年先后新 发现多金属矿床(点)十余处,显示出巨大的成矿潜 力和找矿前景。而作为柴北缘最大规模的多金属矿 床——锡铁山铅锌多金属矿床,其成矿构造背景及 矿床类型认识不仅对矿床本身深部及外围找矿具有 重要影响,而且对整个区域成矿研究及找矿勘查评价都将具有重要的影响。尤其是"十二·五"期间, 国家及青海省均准备在柴北缘地区对部分重要矿产 勘查选区投入大规模的整体勘查工作,这些工作都 需要有正确的成矿构造背景及矿床类型认识作指导。

(3) 虽然 VSHMS 型矿床目前尚没有得到人们 的广泛关注,但是,从近年来块状硫化物矿床研究进 展来看,该类矿床在成矿构造环境的选择上明显不 同于 VHMS 型和 SEDEX 型矿床,具有明确的产出 构造环境和成矿动力学背景。因此,应当成为块状 硫化物矿床类型划分的重要参考依据。同时也是对 块状硫化物矿床类型与构造背景关系研究的有益补 充,应当得到今后块状硫化物矿床研究的高度关注。 此外,矿床,尤其是重要矿床的研究应当成为解决基 础地质问题的重要窗口,其研究成果应当成为区域 地质认识重要的参考依据。当二者存在明显差异 时,矿床地质工作者应当承担起去伪存真、揭开谜团 的责任,这是当前矿床研究要为地球系统科学服务 的基本要求(翟裕生,2007)。

**致谢**:本文主要依据西部矿业公司项目"青海锡 铁山铅锌矿床南部绿片岩系成矿条件及找矿潜力评 价"科研成果撰写而成,室内外工作期间得到了集团 公司邓吉牛总工及地勘公司樊俊昌经理的热情指导 和帮助,在此深表谢忱!感谢审稿专家在稿件审阅 过程中给出的富有建设性的修改意见,在此深表谢 意!

## 注释 / Notes

- 锡铁山矿务局.1997.锡铁山铅锌矿高层次地质找矿研讨会论文 集.西部矿业股份公司内部资料.
- 邓吉牛.1998.青海锡铁山铅锌矿床及外围成矿规律与找矿潜力 分析.西部矿业股份公司内部资料.
- ③ 李峰,吴志亮. 2006. 柴北缘古生代裂谷演化与控矿及锡铁山矿区 1/万地质图修测.西部矿业股份公司内部资料.
- 李峰,吴志亮.2008.锡铁山式矿床成矿模式及柴北缘找矿靶区优选.西部矿业股份公司内部资料.
- 尹家衡,张俊太.1978.青海省柴达木盆地北缘超基性岩及以铬为 主的成矿特征与找矿方向研究.青海省地质科学研究所内部资料.

# 参考文献 / References

- 陈丹玲,孙勇,刘良.2007. 柴北缘鱼卡河榴辉岩围岩的变质时代及 其地质意义. 地学前缘,14(1):108~116.
- 邓达文,孔华,奚小双.2003.青海锡铁山热水沉积型铅锌矿床的地球 化学特征.矿物岩石地球化学通报,22(4):310~313.
- 樊俊昌,李峰. 2006. 青海锡铁山矿区滩间山群新认识. 地质与勘探, 42(6):21~25.
- 郝国杰,郑建康.2001.柴北缘沙柳河榴辉岩岩石学及年代学初步研 究.前寒武纪研究进展,24(3):154~1.
- 侯增谦,韩发,夏林圻.2003.现代与古代海底热水成矿作用——以若 干火山成因块状硫化物矿床为例.北京:地质出版社,1~423.
- 李峰,邓吉牛,坚润堂,吴志亮,汪林峰.2007.青海锡铁山铅锌矿床地 质找矿新进展.矿物学报(增刊):436~438.
- 赖绍聪,邓晋福,杨建军,周天祯,赵海玲,罗照华,刘厚祥.1993. 柴达 木北缘发现大型韧性剪切带.河北地质学院学报,16(6):578~ 586.
- 赖绍聪,邓晋福,赵海玲.1996a.柴达木北缘古生代蛇绿岩及其构造 意义.现代地质,10(1):18~27.
- 赖绍聪,邓晋福,赵海玲.1996b.柴达木北缘奥陶纪火山作用与构造 机制.西安地质学院学报,18(3):8~14.

- 李文渊.2007.块状硫化物矿床的类型、分布和形成环境.地球科学与 环境学报,29(4):331~344.
- 陆松年,王惠初,李怀坤,袁桂邦,辛后田,郑健康.2002.柴达木盆地 北缘"达肯大坂群"的再厘定.地质通报.21(1):19~23.
- 青海省地质矿产局.1991.青海省区域地质志.北京:地质出版社,1~662.
- 史仁灯,杨经绥,吴才来.2003.柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃达克 质英安岩的发现及其地质意义.岩石矿物学杂志,22(3):229~ 236.
- 史仁灯,杨经绥,吴才来,Ilzuka T, Hirata T. 2004. 柴北缘超高压变 质带中的岛弧火山岩. 地质学报, 78(1):52~64.
- 邬介人,任秉琛,张莓,高栋丞,赵统,张汉文,宋志高,张群力.1987. 青海锡铁山块状硫化物矿床的类型及地质特征.中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,20:北京地质出版社,1~81.
- 吴昌志,顾连兴,冯慧,张遵忠,刘四海,黄建华,王长华,王震宇. 2008. 青海锡铁山铅锌矿床的矿体成因类型讨论.中国地质,35 (6):1185~1196.
- 王惠初,陆松年,袁桂邦,辛后田,张宝华,王青海,田琪.2003.柴达木 盆地北缘滩间山群的构造属性及形成时代.地质通报,22(7): 487~493.
- 吴才来,杨经绥,许志琴,Wooden J L, Ireland T,李海兵,史仁灯,孟 凡聪,陈松永,Persing H, Meibom A. 2004.柴达木盆地北缘古 生代超高压带中花岗质岩浆作用.地质学报,78(5):658~675.
- 吴才来,部源红,吴锁平,陈其龙,Wooden JL,Mazadab FK, Mattinson C. 2007. 柴达木盆地北缘大柴旦地区古生代花岗岩 锆石 SHRIMP 定年.岩石学报,23(8):1861~1875.
- 吴才来, 部源红, 吴锁平, 陈其龙, Wooden JL, MazadabFK, Mattinson C. 2008. 柴北缘西段花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其 岩石地球化学. 中国科学(D辑), 38(8):930~949.
- 熊兴武,陈忆元. 1994.柴达木地块北缘早古生代裂陷槽.见:王鸿 祯,王自强,张玲,等.主编.中国古大陆边缘中、新元古代及古生 代构造演化.北京:地质出版社,114~131.
- 许志琴,杨经绥,吴才来,等.2003.柴达木北缘超高压变质带形成与 折返的时限及机制.地质学报,77(2):163~176.
- 杨建军,朱红,邓晋福,周天祯,赖绍聪,1994.柴达木北缘石榴石橄榄 岩的发现及其意义,岩石矿物学杂志,13(2):97~105.
- 杨经绥,宋述光,许志琴,吴才来,史仁灯,张建新,李海兵,万渝生,刘 焰,邱海峻,刘福来,Maruyama S. 2001. 柴达木盆地北缘早古生 代高压一超高压变质带中发现典型超高压矿物——柯石英. 地 质学报,75(2):175~179.
- 张德全,王富春,李大新,丰成友,佘宏全,李进文.2005.柴北缘地区 的两类块状硫化物矿床── [锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床. 矿床地质,24(5):471~480.
- 祝新友,邓吉牛,王京彬,林龙军,樊俊昌.2006.锡铁山矿床两类喷流 沉积成因的铅锌矿体研究.矿床地质,25(3):252~262.
- 张以茀. 1984. 从构造旋回探讨青海及邻区大地构造. 见:地质矿产 部青藏高原地质文集编委会. 编. 青藏高原地质文集,14,青海专 辑. 北京:地质出版社,1~12.
- 张雪亭, 吕惠庆, 陈正兴, 张宝华, 李福祥, 朱跃升, 李朝兰, 王彦. 1999. 柴北缘造山带沙柳河地区榴辉岩相高压变质岩石的发现 及初步研究. 青海地质, 1~13.
- 张建新,杨经绥,许志琴,张泽明,陈文,李海兵. 2000.柴北缘榴辉岩 的峰期和退变质年龄:来自 U-Pb 及 Ar-Ar 同位素测定的证据. 地球化学,29(3):217~222.
- 张贵宾,宋述光,张立飞,牛耀龄,舒桂明.2005.柴北缘超高压变质带 沙柳河蛇绿岩型地幔橄榄岩及其意义.岩石学报,21(4):1049~ 1058.
- 张旗,周国庆,王焰. 2003.中国蛇绿岩的分布、时代及其形成环境.

岩石学报,19(1):1~8.

- 祝新友,邓吉牛,王京彬,林龙军,樊俊昌,孙淑秋.2007. 锡铁山铅锌 矿床网脉状网脉状蚀变管道相得识别与研究. 地球化学, 36 (1):37~48.
- 翟裕生.2007.地球系统、成矿系统到勘查系统.地学前缘,14(1):172 ~181.
- Allen R L, Weihed P, Blundell D J, Crawford T, Davidson G, Galley A, Gibson H, Hannington M, Herrington R, Herzig P, Large R, Lentz D, Maslennikov V, McCutcheon S, Peter J, Tornos F. 2002. Global comparisons of volcanic-associated massive sulphide districts. Geological Society of London Special Publication, 204:13~37.
- Betts P G, Giles D. 2002. Developing a geodynamically indicated targeting strategy for shale hosted massive sulphide Pb—Zn— Ag mineralization in the Western fold belt of the Mount Isa terrane. Australian Journal of Earth Science, 49:985~1010.
- Betts P G, Giles D, Lister G S. 2003. Tectonic environment of shale-hosted massive sulfide Pb—Zn—Ag deposits of proterozoic Northeastern Australia. Economic Geology, 98:557 ~576.
- Bradshaw G D, Rowins S M, Peter J M, Taylor B E. 2008. Genesis of the wolverine volcanic sediment-hosted massive sulfide deposit, Finlayson lake district, Yukon, Canada: mineralogical, mineral chemical, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence. Economic Geology, 103:35~60.
- de Ronde C E J,Baker E T, Massoth G J, Lupton J E, Wright I C, Feely R A, Greene R R. 2001. Intra-oceanic subduction-related hydrothermal venting, Kermadec volcanic arc, New Zealand. Earth and Planetary Science Letters, 193(3~4):359~369.
- de Ronde C E J, Hannington M D, Stoffers P, Wright I C, Ditchburn R G, Reyes A G, Baker E T, Massoth G J, Lupton J E, Walker S L, Greene R R, Soong C W R, Ishibashi J, Lebon G T, Bray C J, Resing J A. 2005. Evolution of a submarine magmatic—hydrothermal system, Brothers Volcano, southern Kermadec Arc, New Zealand. Economic Geology, 100:1097~ 1133.
- Fouquet Y, Stachelberge U, Charlou J L. 1993. Mmetallogenesis in back-arc environments: the Lau basin example. Economic Geology, 88:2154~2181.
- Glasby G P, Iizasa K, Hannington M, Kubota H, Notsu K. 2008. Mineralogy and composition of Kuroko deposits from northeastern Honshu and their possible modern analogues from the Izu—Ogasawara (Bonin) Arc south of Japan: Implications for mode of formation. Ore Geology Reviews, 34:547~560.
- Goodfellow W D. 2001. Genesis of massive sulfide deposits in the Bathurst mining camp, northern New Brunswick, Canada. In: North Atlantic Minerals Symposium, St. John 's, Newfoundland, Canada, Extended Abstracts Volume, 51~57.
- Goodfellow W D, McCutcheon S R. 2003. Geologic and genetic attributes of volcanic sediment-hosted massive sulfide deposits of the Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick-----a

synthesis. Economic Geology Monograph, 11:245~301.

- Goodfellow W D. 2004. Geology genesis and exploration of SEDEX deposits, with emphasis on the Selwyn basin, Canada. In: Deb M, Goodfellow W D. eds. Sediment-hosted Lead—Zinc Sulfide Deposits. New Delhi, India: Narosa Publishing House, 24~97.
- Groves D I, Bierlein F P. 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems. Journal of the Geological Society, London, 164:19~30.
- Hutchison R W. 1980. Massive base metal sulphide deposits as guides to tectonic evolution. In: Wilson J T, Strangway D W. eds. The continental crust and its mineral deposits. Geological association of Canada special paper, 20:660~684.
- Halbach P, Nakamura K, Washsner M. 1989. Probable modern analogue of Kuroko-type deposits in the Okinawa trough back arc basin. Nature, 338:496~499.
- Kim J, Lee I, Halbach P, Lee K Y, Ko Y T, Kim K H. 2006. Formation of hydrothermal vents in the North Fiji Basin: Sulfur and lead isotope constraints. Chemical Geology, 233(3~4):257 ~275.
- Lydon J W. 1996. Sedimentary exhalative sulphides (SEDEX). In: Eckstrand O R, Sinclair W D & Thorpe R I. eds. Geology of Canadian Mineral Deposit Types. Geological Survey of Canada: Geology of Canada.8:130~152.
- Lydon J W. 2004. Genetic models for Sullivan and other SEDEX deposits. In: Deb M, Goodfellow W D. eds. Sediment-hosted Lead—Zinc Sulfide Deposits. New Delhi, India: Narosa Publishing House,149~190.
- Large R R, Cooke D, McGoldrick P, Scott R, Selley D. 2008. Advances in genetic understanding of sediment hosted base metal and gold deposits(abstracts)[OL]. In: 33rd International Geological Congress. [ 2010-01-15 ]. http://www. geoscienceworld. org/cgi/georef/georef; 3519125029? HITS = 10& hits=10& field\_name=fulltext& field\_value=Ross+R. + Large% 2C + David + Cooke&searchid = 1&FIRSTINDEX = gr& titlefield 10&resourcetype = HWCIT & src = = lemhwcomptitle% 2Clemextcomptitle&abstractfield = lemhwcompabstract% 2Clemextcompabstract&fulltextfield = lemcontent.
- Sawkins F J. 1972. Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. Journal of Geology, 80:377~397.
- Sawkins F J. 1976. Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments. Journal of Geology, 84:653~671.
- Tornos F, Chiaradia M. 2004. Plumbotectonic evolution of the Ossa Morena Zone, Iberian Peninsula: tracing the influence of mantle—crust interaction in ore-forming processes. Econ. Geol., 99:965~985.
- Urabe T, Yuasa M, Nakao S. 1987. Hydrothermal sulfide from a submarine caldera in the Shhichito Lwojima Ridge, Northwestern Pacific. Marine Geology, 74:295~299.
- Urabe T, Marumo K. 1991. A new model for Kuroko-type deposits of Japan. Episodes, 4(3) :246~251.

# A Discussion on Type of the Xitieshan Pb-Zn Ore Deposit, Qinghai

FENG Zhixing<sup>1,2)</sup>, SUN Huashan<sup>1)</sup>, WU Guanbin<sup>1)</sup>, WANG Yuqi<sup>1)</sup>

1) Resources Faculty, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;

2) Western Mining Mineral Resources Exploration Company, Xining, 810000

Abstract: The Xitieshan Pb—Zn ore deposit is the largest lead—zinc poly-metal deposit in the Northwest China, however, its ore deposit tpye has been contradiction for a long time, and more and more researchers regarded it as Sedimentary exhalative massive sulfide deposit(SEDEX deposit). On the basis of summaries on the latest advances in metallogenic tectonic setting of massive sulfide deposit in recent years, in combination with progress in regional geologic research about the north boundary of the Qaidam basin, early Paleozoic, it is pointed out in this paper that the metallogenic tectonic setting of the Xitieshan ore deposit was not intra-continental rift or aulacogen traditionally regarded, whereas should be back-arc or intra-arc basin rift. Corresponding to this change in metallogenic tectonic settings, ore deposit type should be VSHMS type, instead of SEDEX type. So, three aspects of significances could be carried out: (1) it is advantage to solve the contradiction between knowledge of metallogenic tectonic settings and those of regional geologic research; (2) to ensure regional metallogenic researches and ore-finding exploration and assessment on the basis of correct geologic setting, and (3) relating ore deposit type to metallogenic tectonic settings, it is a kind of embodiment to through ore deposit research serves as Earth system science.

Key words: massive sulfide deposit; metallogenic tectonic setting; ore deposit type; Xitieshan deposit; Qinghai